

DURABILIDADE EM AMBIENTE MARÍTIMO DE BETÕES PROTEGIDOS COM PINTURAS ACRÍLICAS



B. Aguiar
Prof. Associado
Dep. de Eng^a Civil, UM
Guimarães, Portugal



B. Sousa
Eng. Civil
I E P
Braga, Portugal

SUMÁRIO

O contacto com a água do mar é uma exposição ambiental muito agressiva para o betão. Neste estudo, utilizaram-se dois betões protegidos com uma pintura acrílica. Decorrido o período de imersão, determinaram-se os coeficientes de difusão dos cloretos. Os resultados mostram que a utilização de uma pintura acrílica diminui os coeficientes de difusão dos cloretos. Estes aumentam com a concentração de cloreto de sódio da solução em contacto com os betões.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da degradação do betão quando exposto à água do mar é bem conhecido [1, 2]. O problema principal é a corrosão do aço nas estruturas de betão armado. Esta degradação só é possível se os agentes agressivos podem penetrar facilmente. Na água do mar estão presentes sais, basicamente cloreto de sódio. Analisou-se a penetração destas substâncias. Neste estudo, utilizaram-se ensaios de imersão [3, 4]. Ensaaiaram-se dois betões diferentes, protegidos com pinturas acrílicas e imersos em soluções salinas com diferentes graus de agressividade. As vantagens da utilização de uma pintura acrílica para protecção do betão são os principais objectivos deste estudo. Em primeiro lugar, apresenta-se a caracterização dos materiais utilizados. Descreve-se a forma de obter as amostras para a análise química, com vista à determinação dos teores em cloretos a diferentes profundidades. Com os resultados das análises químicas foi possível obterem-se os perfis de cloretos e determinarem-se os coeficientes de difusão. Em seguida, determinaram-se os parâmetros K e efectuaram-se previsões dos tempos de vida dos betões.

2. ENSAIOS

No quadro 1 podem ver-se as composições dos dois betões utilizados. O betão 1 tinha uma dosagem de cimento de 280 kg/m^3 e uma razão água-cimento de 0,60. O betão 2 tinha 320 kg/m^3 de dosagem de cimento e uma razão água-cimento de 0,50. O cimento utilizado foi um CEM I, da classe 42,5.

Quadro 1 – Composições dos betões

MATERIAIS	QUANTIDADES (kg/m^3)	
	BETÃO 1	BETÃO 2
Agregado 5-20	1233	1265
Areia 0-2	731	686
Cimento CEM I 42,5	280	320
Água	168	160

O abaixamento do betão 1 foi de 3 cm e o do betão 2 foi de 1 cm. Com o betão fresco moldaram-se cubos de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$. Utilizaram-se seis recipientes para colocar os provetes em água do mar. Usou-se água do mar do Norte de Portugal. Duas soluções diferentes foram preparadas:

Solução 1 – Água do mar;

Solução 2 – Água do mar + 70 g/l de cloreto de sódio.

Utilizou-se uma tinta acrílica para proteger os betões dos ambientes marítimos. Em cada recipiente colocaram-se dois provetes sem pintura e dois pintados com duas demãos, de acordo com as instruções do fabricante da tinta. Os provetes foram colocados nas soluções agressivas com 18 dias de idade. A imersão teve uma duração total de 90 dias. Todos os meses, a solução agressiva era renovada.

Para determinar o teor em cloretos dos provetes, removeu-se algum pó do betão. Utilizando uma broca de 30 mm (Fig. 1), abriu-se um orifício (Fig. 2). Primeiro furou-se até 5 mm de profundidade e recolheu-se o pó. Depois, continuou-se até 10 mm de profundidade e o pó foi recolhido. Finalmente furou-se até 15 mm de profundidade e recolheu-se a última amostra de pó.

3. RESULTADOS

Nas figuras 3 e 4 apresentam-se exemplos dos perfis de cloretos obtidos. Para estimar o teor de cloretos na superfície utilizou-se uma aproximação exponencial. A aproximação através de uma polinomial quadrática não conduziu a ajustes tão bons.

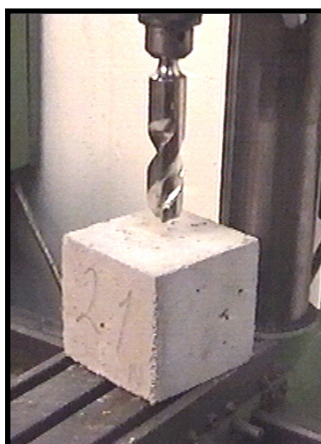


Figura 1: Broca para extracção do pó dos provetes



Figura 2: Orifício aberto num provete

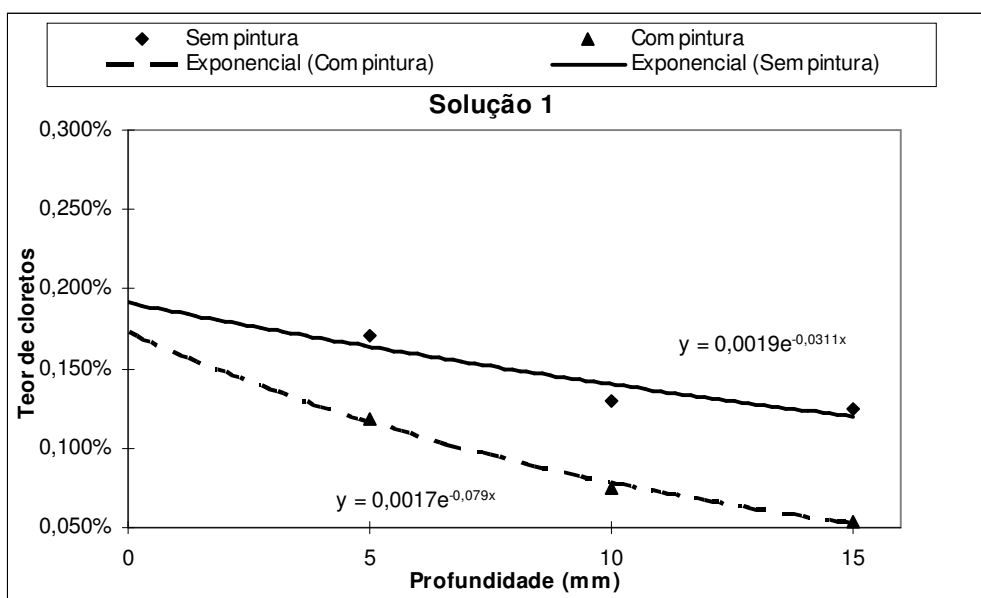


Figura 3: Perfis de cloretos para o betão 1 – Solução 1

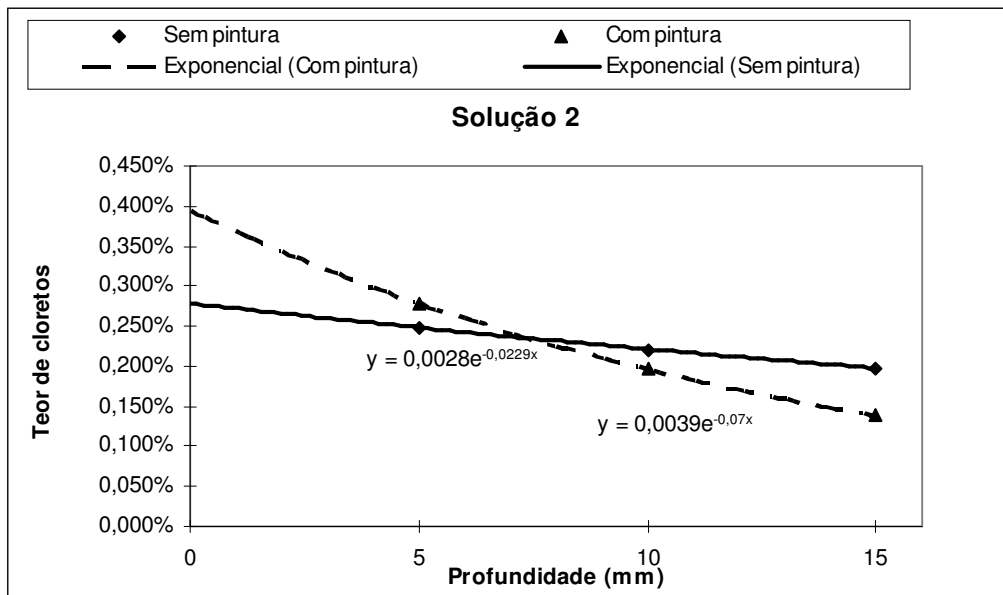


Figura 4: Perfis de cloretos para o betão 2 – Solução 2

Com os resultados dos ensaios de imersão pode determinar-se o coeficiente de difusão utilizando a seguinte expressão [5]:

$$C_x = C_s - (C_s - C_0) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1)$$

onde:

x – profundidade no betão;

t - tempo;

D – coeficiente de difusão;

C_x – concentração de cloretos à profundidade x e no tempo t;

C_s – concentração de cloretos à superfície no tempo t;

C_0 – concentração de cloretos inicial;

erf – função erro.

As figuras 5 e 6 apresentam os coeficientes de difusão encontrados. A concentração inicial de cloretos era de 0,01 %. Depois da determinação do coeficiente de difusão determinou-se o parâmetro de penetração K, utilizando a seguinte expressão:

$$K = 2\sqrt{D} \operatorname{erf}^{-1}\left(\frac{C_s - C_r}{C_s - C_0}\right) \quad (2)$$

Onde C_r é a concentração de cloretos de referência. Em [6] podemos encontrar 0,4 % da massa de cimento, como valor de referência. Para o betão 1 temos uma concentração de 0,049 % da massa do betão. Para o betão 2 temos 0,0546 % da massa do betão.

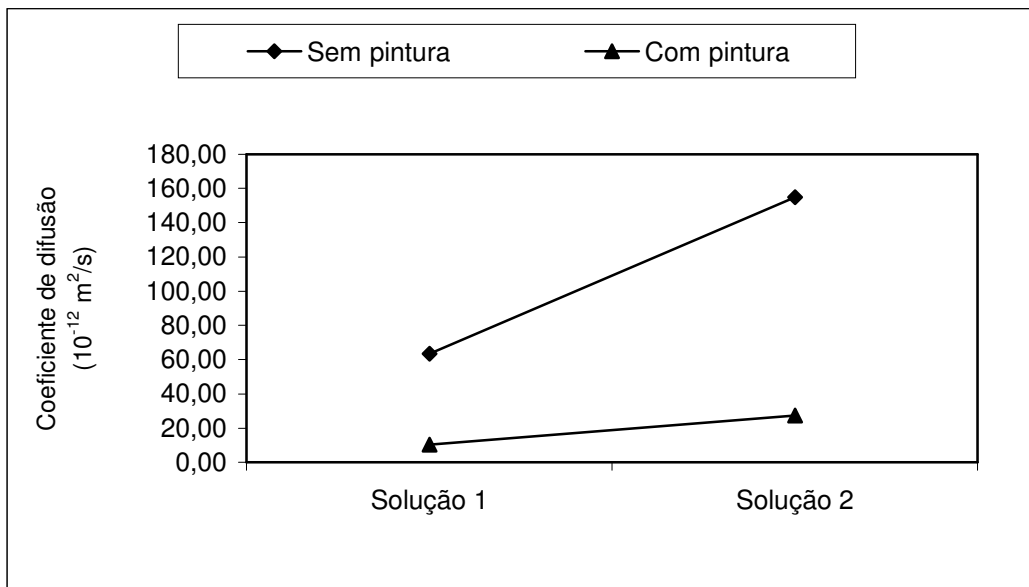


Figura 5: Variação do coeficiente de difusão com o tipo de solução e com a protecção do betão – Betão 1

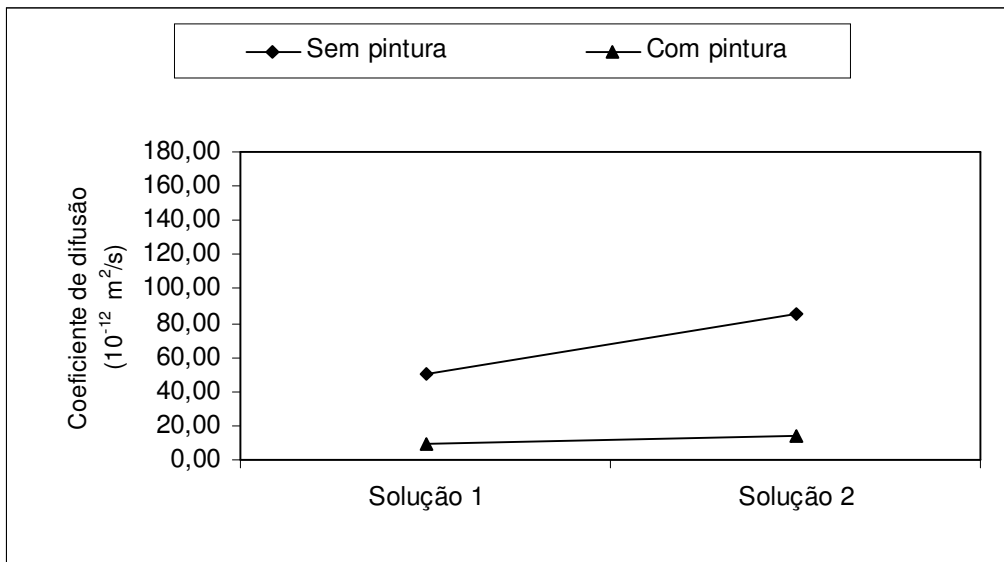


Figura 6: Variação do coeficiente de difusão com o tipo de solução e com a protecção do betão – Betão 2

Com o parâmetro de penetração K é possível estimar a variação da profundidade de penetração com o tempo:

$$x = K \sqrt{t} \quad (3)$$

As figuras 7 e 8 apresentam a variação das profundidades de penetração com o tempo nos dois betões ensaiados. A análise do que poderá acontecer dentro de 50 anos, mostra que com a pintura, a profundidade de penetração dos cloretos máxima será de cerca de 73 mm para o betão 1. No betão 2 a profundidade de penetração, para o mesmo período não ultrapassará os 60 mm. As profundidades de penetração através dos betões sem pintura são superiores. Todos os cálculos apontam para profundidades de penetração de cloretos superiores a 127 mm.

O betão 2 apresenta um melhor comportamento do que o betão 1. Analisando o que se passará ao fim de 50 anos, teremos para o betão 2 sem pintura, uma profundidade de penetração de cloretos de cerca de 147 mm. No caso de betão 1 sem pintura, a profundidade de penetração sobe para 161 mm. Trata-se de um acréscimo de 10 %. A mesma análise para o betão 2 com pintura, mostra uma penetração de cerca de 59 mm. Para o betão 1 com pintura, temos cerca de 70 mm. Trata-se de um acréscimo de 19 %.

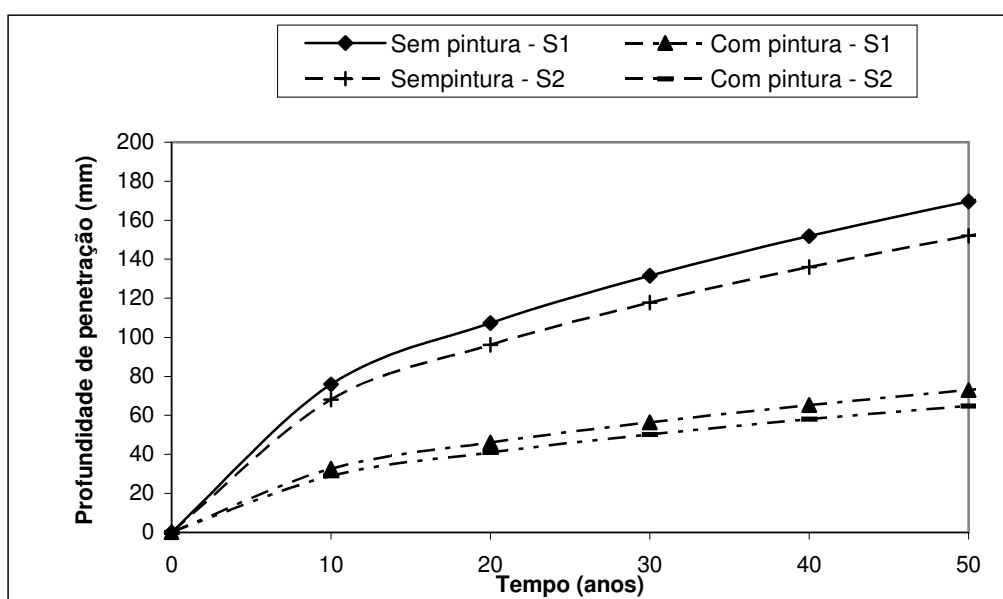


Figura 7 – Variação da profundidade de penetração dos cloretos com o tempo – Betão 1

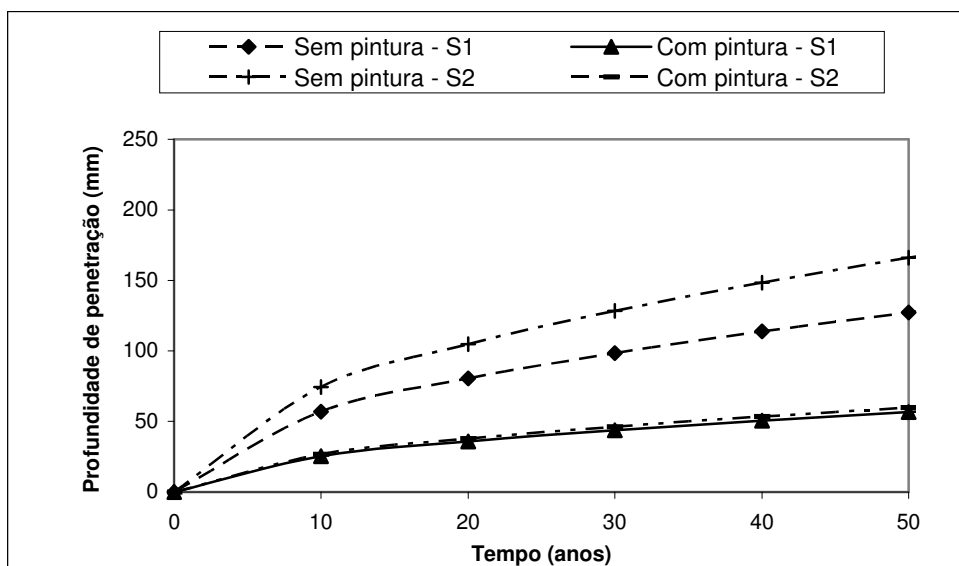


Figura 8 – Variação da profundidade de penetração dos cloretos com o tempo – Betão 2

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios e os cálculos efectuados permitem as seguintes conclusões:

- a protecção dos betões com uma pintura acrílica permite uma diminuição do coeficiente de difusão de cloretos de 83 % em média;
- o betão 2, com menor razão água/cimento e com maior dosagem de cimento, apresentou menores concentrações de cloretos e menores profundidades de penetração do que o betão 1;
- os coeficientes de difusão de cloretos obtidos com a solução 2 são maiores do que os obtidos com a solução 1;
- relativamente às profundidades de penetração de cloretos o tipo de solução parece não ter grande influência;
- mesmo com a pintura, as profundidades de penetração de cloretos estimadas para os 50 anos são elevadas, ultrapassando em condições normais a espessura de recobrimento.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Gjorv, O.E. – “Steel Corrosion in Concrete Structures Exposed to Norwegian Marine Environment”, *Concrete International*, ACI, April 1994, p. 35-39.
- [2] Masuda, M. Y. – “Condition Survey of Salt Damage to Reinforced Concrete Buildings in Japan”, *International Conference Concrete for Extreme Conditions*, Thomas Telford, Londres, Inglaterra, 2002, p. 823-836.

- [3] Buenfeld, N. R.; Newman, J. B. – “Examination of Three Methods for Studying Ion Diffusion in Cement Pastes, Mortars and Concrete”, *Materials and Structures*, RILEM, Vol. 20, 1987, p. 3-10.
- [4] Aguiar, J. B.; Sousa M. B. – “Use of an Acrylic Painting to Increase the Durability of Reinforced Concrete in a Seawater Environment”, *International Conference Sustainable Construction into the Next Millennium: Environmentally Friendly and Innovative Cement Based Materials*, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brasil, 2000, p. 626-636.
- [5] Crank, J. - *The Mathematics of Diffusion*, 2nd edn., Oxford, 1975.
- [6] European Committee for Standardization, "Concrete. Performance, Production, Placing and Compliance Criteria", ENV 206, 1993.